

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-216446

(43)公開日 平成6年(1994)8月5日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/094				
3/07		8934-4M		
3/10	Z	8934-4M		
		8934-4M		
H 0 1 S 3/094				S

審査請求 未請求 請求項の数12 FD (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平5-285583

(22)出願日 平成5年(1993)10月21日

(31)優先権主張番号 965457

(32)優先日 1992年10月23日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390035493

アメリカン テレフォン アンド テレグラフ
カンパニーAMERICAN TELEPHONE
AND TELEGRAPH COMPAN
Yアメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨ
ーク ニューヨーク アヴェニュー オブ
ジ アメリカズ 32

(74)代理人 弁理士 三保 弘文

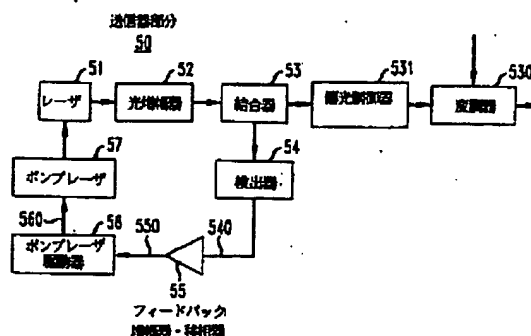
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光導波レーザ装置

(57)【要約】

【目的】 安定で、しかも安価で単純な構造の、光ファイバ通信等に適した導波レーザを実現する。

【構成】 波長 λ_s の放射をする光導波路レーザ51を含み、a) $\lambda_p < \lambda_s$ である波長 λ_p のポンプ放射をするポンプレーザ57と、b) ポンプレーザ57に駆動流を供給する手段56と、c) ポンプ放射を光導波路に結合する手段と、d) 受信器127と、e) 波長 λ_s の放射の光増幅した部分を検知し、波長 λ_s のレーザ出力放射の振幅を表示する検知器54と、f) 検出器54の出力を増幅・位相シフトする手段55と、g) 増幅・位相シフトされた出力を、駆動流供給手段56に対して、ポンプレーザ57に供給される駆動流が波長 λ_s のレーザ出力放射の振幅に応じた出力になるように供給する手段と、を具備する装置である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長 λ_s の放射を含む出力を出し光導波路を有するレーザ(51)を具備する装置であって、

a) $\lambda_p < \lambda_s$ である波長 λ_p のポンプ放射をする半導体ポンプ放射源(57)と、

b) 前記ポンプ放射源(57)に駆動流を供給する手段(56)と、

c) 前記ポンプ放射を前記光導波路に結合する手段と、

d) 前記波長 λ_s の放射を利用する手段(127)と、を具備する装置において、

e) 前記波長 λ_s の放射の光増幅した部分を検出し、波長 λ_s の前記レーザ出力放射の振幅を指図する出力を供給する手段(54)と、

f) 前記e)の手段の出力を増幅または位相シフトする手段(55)と、

g) 前記の増幅または位相シフトされた出力を、前記の駆動流を供給する手段(56)に対して、前記ポンプ放射源(57)に供給される駆動流が波長 λ_s の光導波レーザ出力放射の振幅に応じた出力になるように供給する手段とを具備することを特徴とする装置。

【請求項2】 前記光導波レーザはErまたはPrでドープした一定長さの光ファイバを有するシリカベースの光ファイバレーザであることを特徴とする請求項1の装置。

【請求項3】 前記装置は光ファイバ通信システムであって、前記d)の手段は、前記レーザ手段から距離において配設された受光手段と、その受光手段と前記レーザ手段とを信号伝送可能に接続する光導波手段とを具備することを特徴とする請求項1または2の装置。

【請求項4】 前記波長 λ_s の放射を増幅する光導波増幅器手段と、与えられた信号に応じて前記波長 λ_s の放射を変調する変調器手段とを具備することを特徴とする請求項3の装置。

【請求項5】 前記変調器手段と前記光導波増幅器手段とは、前記波長 λ_s の放射が増幅される前に変調されるように配設されていることを特徴とする請求項4の装置。

【請求項6】 前記装置は光導波発信器であって、かつ、前記d)の手段は一定長さの光ファイバを具備することを特徴とする請求項1または2の装置。

【請求項7】 波長 λ_s の放射を含む出力を有し光導波路を有する導波レーザ(70)を具備する装置であって、

a) $\lambda_p < \lambda_s$ である波長 λ_p の半導体ポンプ放射源(75)と、

b) 前記ポンプ放射を前記光導波路に結合する手段と、

c) 波長 λ_s の前記放射を利用する手段(73)と、を具備する装置において、

d) 前記b)の手段は、前記ポンプ放射源(75)と前記導波レーザ(70)とを放射伝送可能に接続する光導

波伝送路を具備し、その光導波伝送路は、前記ポンプ放射源(75)から前記導波レーザ(70)へのポンプ放射の伝搬を許容し、かつ、前記導波レーザ(70)から前記ポンプ放射源(75)に向かって伝搬するポンプ放射及び信号放射の少なくともかなりの部分の経路をブロックする第1の片方向要素(71)を具備することを特徴とする装置。

【請求項8】 前記導波レーザから前記c)の手段に向かうポンプ放射及び信号放射の通過を許容し、かつ、前記c)の手段から前記導波レーザに向かって伝搬するポンプ放射及び信号放射の少なくともかなりの部分の経路をブロックする第2の片方向要素(72)を具備すること、を特徴とする請求項7の装置。

【請求項9】 前記c)の手段は光導波増幅器を具備することを特徴とする請求項7または8の装置。

【請求項10】 λ_p は約1.5 μm であり、前記導波レーザ及び導波増幅器はともにErでドープしたシリカベースの光ファイバを具備し、かつ、前記第1及び第2の片方向要素の少なくとも一方は傾斜波長フィルタであることを特徴とする請求項9の装置。

【請求項11】 前記c)の手段は、前記ポンプ放射源と前記導波レーザとを放射伝搬可能に接続する光導波伝送路を具備し、その光導波伝送路は、前記ポンプ放射源から前記導波レーザへのポンプ放射の伝搬を許容し、かつ、前記導波レーザから前記ポンプ放射源に向かって伝搬するポンプ放射及び信号放射の少なくともかなりの部分の経路をブロックする第1の片方向要素71を具備することを特徴とする請求項1または2の装置。

【請求項12】 前記片方向要素は傾斜波長フィルタであることを特徴とする請求項11の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば光導波レーザ、例えばエルビウムでドープした光ファイバレーザ、を有する光ファイバ通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】最近、光導波レーザが注目を浴びている。例えば、単一モードのErドープファイバ(エルビウムでドープした光ファイバ)レーザが、現在、光ファイバ通信システムにおける信号放出源に使用されるものとして有力な候補になっている。このことは、例えば、G. A. Ball et al., Optical Fiber Communication Conference, Feb. 2-7, 1992, San Jose, California, "1992 Technical Digest Series", Vol.5 Conference Edition, p.97に記載されている。また、プルトリウムでドープした導波路のレーザ及び増幅器も注目されている。

【0003】光導波レーザは、可能性として半導体レーザ源よりも優れたものを持っている。例えば、光導波レーザは本来的に単純な構造であり、予め定められた波長

の波を容易に放射でき、簡単に連続的に同調（チューニング）できる。このことは、例えば、G. A. Ball et al., Optics Letters, Vol.17(6), p.420に記載されている。

【0004】光導波レーザは本来的に単純であることから、当業者はこれまで、適当な導波レーザにより、光通信システムにおける信号源として必要な（極めて厳格な）安定度が得られるかどうか、について疑問をもたなかった。典型的には、そのようなシステムでは、ビット誤り率（BER）を 10^{-9} 、さらには 10^{-12} として設計する。このことは、非常に安定なレーザが必要であることを意味する。

【0005】ダイオードでポンピングされたNd:YAGレーザは緩和発振に依存し、この緩和発振によって出力にかなりのノイズ（典型的には周波数100kHzないし1MHz）が生ずることが知られている。例えば、T. J. Kane, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 2(4), p. 244に記載されている。この論文では、ダイオードでポンピングされた単一周波数モノリシックNd:YAGレーザの例が示されており、緩和発振のピークが280kHzで生じたと報告されている。さらにその論文によれば、そのNd:YAGレーザの出力から緩和発振によるノイズを除くには、適当なフィードバックをかけることが有効である。またその論文の第2図はフィードバックループを含むブロック図を示している。

【0006】Erドープファイバの増幅器及びレーザのうちで冷光を発する種類はEr³⁺である。SiO₂をベースとするマトリクスの中でEr³⁺の関する電子遷移は、長い寿命（典型的には10ms）をもっている。

【0007】光導波レーザは好ましくはインライン屈折率格子を有している。このことは例えば、米国特許第4,725,110号に記載されている。また、米国特許出願第07/878,802号にはそのような格子の製造方法について開示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】発明者らは、次のようなことを偶然に発見した。すなわち、光通信システムにとって非常に適した少なくとも一部の光導波レーザは、過度の出力変動を起こすことがある。特に、そのレーザが機械的衝撃を受けたときには大きな変動を起こす。例えば図1は、SiO₂をベースとする単一モードErドープ光ファイバレーザの一実施例の増幅された出力を時間の関数として示すものである。激しい振動によってノイズバーストが引き起こされることが観察される。図3はそのレーザの増幅された出力を時間の関数として示すもので、周波数約150kHzの変動が示されている。

【0009】したがって、光導波レーザ（例えばErドープレーザまたはPrドープレーザ）において振動により誘発される振幅変動をなくすか、少なくとも軽減することが、商業化する上の重要点となっている。なぜなら

ば、そのような技術なくして、そのようなレーザを通信目的等に使用することは疑問だからである。そのような技術は、単純で、安価であり、しかも、実質的に無条件に安定なレーザを提供するものであることが望ましい。本発明は、かかる技術をも提供するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】シリカ内のEr³⁺が長寿命であることが知られていたことから考えて、発明者らには、初め、フィードバックが100kHzオーダの振動を抑制するには見えなかった。実際、観察された変動の源さえ不明瞭で、したがってその変動問題の解決は見えなかった。例えば、発明者らは前に、ある種の高ゲインErドープファイバレーザにおける自己パルセーションを観察し、Erクラスタ（群れ）がこの問題の原因である可能性が高いということを見いだした。

【0011】図9と図10は、Er³⁺が長寿命であることにより、Erドープファイバレーザは極めて低い周波数のポンプ放射変動にも追従するのに限界があることを示している。図9が示すように、レーザは、ポンプ放射の1Hz100%矩形波変調に比較的忠実に追従できる。しかし、図10に示すように、ポンプ放射が10Hzで100%矩形波変調された場合は、レーザ出力は激しく変形する。

【0012】しかし、発明者らは、適当なフィードバックを加えることにより、Erドープファイバレーザの出力振幅変動は少なくとも大幅に低減し、他の希土類（例えばPr）ドープレーザにおける同様の実用性が期待できるということを見いだした。例えば、図2及び図4はフィードバックを加えた例であって、それぞれ、図1及び図3に対応する。このように、本発明は、例えば、光導波路を有する光導波レーザまたは光ファイバ通信システムであって、その光導波路は出力振幅変動を低減または防止するフィードバック手段を持つものである。

【0013】すなわち本発明は、請求項1に記載のとおり、波長 λ_s の放射を含む出力を出し光導波路を有するレーザ51を具備する装置であって、a) $\lambda_p < \lambda_s$ である波長 λ_p のポンプ放射をする半導体ポンプ放射源57と、b) 前記ポンプ放射源57に駆動流を供給する手段56と、c) 前記ポンプ放射を前記光導波路に結合する手段と、d) 前記波長 λ_s の放射を利用する手段127と、を具備する装置において、e) 前記波長 λ_s の放射の光増幅した部分を検知し、波長 λ_s の前記レーザ出力放射の振幅を指標する出力を供給する手段54と、f) 前記e)の手段の出力を増幅または位相シフトする手段55と、g) 前記の増幅または位相シフトされた出力を、前記の駆動流を供給する手段56に対して、前記ポンプ放射源57に供給される駆動流が波長 λ_s の光導波レーザ出力放射の振幅に応じた出力になるように供給する手段と、を具備することを特徴とする装置である。

【0014】また本発明は、請求項7に記載のとおり、

波長 λ_s の放射を含む出力を有し光導波路を有する導波レーザ70を具備する装置であって、a) $\lambda_p < \lambda_s$ である波長 λ_p の半導体ポンプ放射源75と、b) 前記ポンプ放射を前記光導波路に結合する手段と、c) 波長 λ_s の前記放射を利用する手段73と、を具備する装置において、d) 前記b)の手段は、前記ポンプ放射源75と前記導波レーザ70とを放射伝送可能に接続する光導波伝送路を具備し、その光導波伝送路は、前記ポンプ放射源75から前記導波レーザ70へのポンプ放射の伝搬を許容し、かつ、前記導波レーザ70から前記ポンプ放射源75に向かって伝搬するポンプ放射及び信号放射の少なくともかなりの部分の経路をブロックする第1の片方向要素71を具備すること、を特徴とする装置である。

【0015】

【作用】上記手段により、安定で、しかも安価で単純な構造の、光ファイバ通信等に適した導波レーザが実現できる。

【0016】

【実施例】図5は、本発明による光通信システムの送信器部分50の一実施例の関係部分を示す。ポンプレーザ57からの放射は、光ファイバレーザ51に結合され、波長 λ_s の単一モードの放射を出すように設計されている。そのレーザ出力は、公知の光増幅器52で増幅され、結合器53で分割される。結合器53の出力ポートの一つからの放射は、偏光制御器531を通り、変調器530で適当な信号とともに変調された後、従来型の伝送ファイバ（図示せず）に結合される。

【0017】結合器53の他の出力ポートからの放射は、公知の検出器54に衝突させられる。検出器54の電気出力信号540は、フィードバック増幅器・移相器55で、適当に増幅され、かつ／または位相シフトされる。また、フィードバック増幅器・移相器55の電気出力550は公知のポンプレーザ駆動器56に供給される。信号550は、ポンプレーザ駆動器56の電気出力信号560を制御し、それにより光ファイバレーザ51に負のフィードバックをかけるべくポンプレーザ57の放射出力を制御する。

【0018】図5の実施例の変形として、例えば、光増幅器52をフィードバックループの外に出して変調器530の下流側に置いてもよい。その場合、その増幅器の替わりに例えばポンプレーザ・レーザ駆動器が別に置かれる。

【0019】図6は、本発明を利用した光ファイバレーザ60に関する模式図である。Erドープファイバ61には2個の格子650、651が互いに間隔をおいて配設されている。これらの格子650、651は屈折率がわかっており、レーザキャビティを決定する。出力結合器格子651は信号放射に対して比較的低い（例えば約98%）ピーク反射率を持ち、後部反射器650は比較的高い（例えば99%以上）ピーク反射率を持つ。格子

帯幅は、例えば0.5nm以上である。

【0020】このErドープファイバ61はスプライス640（例えば融合スプライス）によって従来型のファイバ62に接続され、ポンプ放射（例えば $\lambda_p = 0.98\mu\text{m}$ ）はスプライス640及び格子650を通してレーザキャビティへ伝搬する。信号放射は主として前進（正）方向に向けられ、スプライス641によってファイバ63に結合される。

【0021】発明者らは、Erドープファイバ61として、Alと約600ppm（陽イオンモルppm）のErをコア全体にほぼ均一に分布・含有させドープしたゲルマノシリケート製のコアを使用した。そのコアは、有効直径2.6 μm で、屈折率の差は $\Delta n = 0.023$ であった。そのファイバは、カットオフ波長が0.88 μm で、1.53 μm におけるポンプなしの損失は0.1dB/cmであった。Erドープファイバの全長（スプライスからスプライスまで）は約4.4cmであり、実効キャビティ長さは2.5cmであった。

【0022】図6からわかるように、本発明によるフィードバックを使用してもしなくてもレーザの運転は可能である。もっとも、フィードバックはあった方が望ましくはある。また、偏光維持ファイバの偏光ファイバをファイバレーザやファイバ増幅器に使用するのが望ましいことがわかる。

【0023】図7は、他の実施例を示す。符号70はファイバレーザであり、71、72は広帯域アイソレータ等の片方向要素である。片方向要素71は、ポンプパワーのポンプレーザ（例えば1490nm半導体レーザ）への反射を取り除くためのものであり、片方向要素72は信号放射のファイバレーザ70への反射を取り除くためのものである。適当なアイソレータが公知であり、市販されている。例えば、1.54 μm において65dBよりも大きなリターン損失であり、1.49 μm において35dBよりも大きなリターン損失のものが提供されている。

【0024】信号放射とポンプ放射が片方向要素72を通して増幅器ファイバ73に送られ、増幅された信号放射（それに少量のポンプ放射を伴うこともありうる）は、スプライス741を通じて従来型伝送ファイバ74に送られる。さらに増幅器ファイバ73と伝送ファイバ74との間にもう一つの片方向要素（図示せず）を挿入してもよい。前述の場合とほぼ同様に、フィードバックループ（図示せず）を配設するのが望ましい。例えば、増幅器ファイバ73は45mのErドープファイバであって、約50 μW の入力から約4mWの出力を出し、一つのポンプレーザがファイバレーザとファイバ増幅器の両方にポンピングをする。ポンプレーザを一つにするかどうかはもちろん任意である。

【0025】図7の構成で、片方向要素71、72にはアイソレータ以外のものも使用できる。例えばアイソレ

ータ71は、ポンプ放射を通す一方で、信号放射を通さないような適当に傾斜させた波長フィルタであってもよい。フィルタを適当に傾斜させることで、反射したポンプ放射をファイバ75のコアから離れる方向に向けさせ、これによりその反射したポンプ放射をブロックする。そのような用途に適したフィルタは市販されており、例えばAT&T社のOPF2001Aフィルタは $1.48\mu\text{m}$ のポンプ放射は通すが $1.55\mu\text{m}$ の信号放射は通さない。

【0026】図7の組み合わせは、通常、フィードバックループの有無に関わらず、片方向要素71または72を欠く従来のポンプ/励振器/増幅器の組み合わせに比べて、安定性が格段に向上し、好ましいものである。片方向要素71は、必要により、ポンプレーザと結合して一つのユニットとしてもよい。

【0027】前述のように、発明者らは、Erドープ冷光機器は通常(Er^{3+} のエネルギー準位の高い状態寿命が約10msであることにより)、ポンプパワー変調に対して応答が遅いにもかかわらず、比較的高周波のポンプパワー変動がファイバレーザ振動を励起する可能性があるということを見出した。発明者らは、これらの変動が共振現象に起因することを見出した。このことは図8に示されている。この図は、ポンプ振幅の0.5%変調に対するファイバレーザの応答を、変調周波数の関数として示したものである。この図から、現象が共振的性質のものであることは明かである。

【0028】図12は光通信システム120を示すもので、送信器121は本発明によるポンプファイバレーザ/ファイバ増幅器の組み合わせを有している。その他の部分は従来技術によるものでよい。外部信号に従って変調された送信器出力放射は、光伝送ファイバ122に結合される。増幅器ファイバ124は、光送信ファイバ122の途中のスプライス123、125で粗継ぎ(スプライス)され、またポンプレーザ126からのポンプ放射は増幅器ファイバ124に結合される。受光器127は、ファイバ伝送路の端部で、変調された出力放射を検出し、その光信号に応じて電気出力を作り出す。

【0029】実施例1: 図5に示す配置とほぼ同様のものを作った。主な相違点は、結合器53、偏光制御器531、変調器530がない点である。光ファイバレーザ51はErでドープしたSiベースの、インライン屈折率格子付きのものであり、光増幅器52は45メートルのErでドープしたSiベースのファイバであって、どちらも前述のものと同様のものであった。ポンプレーザ57はアンリツモデルSD3F101Fの $1.48\mu\text{m}$ レーザダイオードであり、ポンプレーザ駆動器56はLight Control Instruments, Inc.モデル950レーザダイオード駆動器であり、検出器54はGe光ダイオードであった。フィードバック増幅器回路が図11に示されている。これは一例であって、種々のものが考えられ

る。

【0030】図11の例では、移相ネットワークは必要でなく、明示されてはいない。移相回路は周知である。例えば、"National Semiconductor Linear Applications Handbook", 1986, p.114に示されている。図11の増幅器111はNational Semiconductor LH0032 FET-入力オペレーショナル増幅器である。その他種々の増幅器も使用可能である。ここに述べた装置により、図2、図4に示すように、波長約 1538nm において安定な出力を得ることができた。

【0031】実施例2: $1.54\mu\text{m}$ の信号放射を作るために、図7に示す装置とほぼ同様のものを用いた。ポンプレーザは $1.48\mu\text{m}$ の従来の半導体レーザとした。片方向要素71は前述のように波長フィルタとし、片方向要素72は従来型のアイソレータ(FDK単ステージYIG光アイソレータYD340-3-155S)とした。増幅器としては、 35m のErドープファイバを用いた。

【0032】スプライス741の下流側に第2の従来型アイソレータ(図7に示さず)を配設し、そのアイソレータは市販の傾斜(アングル)接続器により標準光ファイバ(AT&T5D)に結合した。このような構成により、 1540nm において安定な単一モードの出力を得ることができた。アイソレータ72を取り除くと、出力に高モード成分を生じた。

【0033】実施例3: 実施例2の構成に上述のフィードバックループとほぼ同様のものを追加したものである。結果は、きわめて安定性の高い単一モードの 1540nm の放射であった。

【0034】

【発明の効果】本発明により、安定で、しかも安価で単純な構造の光ファイバ通信等に適したレーザが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】フィードバックなしの光ファイバレーザの出力例である。

【図2】フィードバックありの光ファイバレーザの出力例である。

【図3】フィードバックなしの光ファイバレーザの出力例である。

【図4】フィードバックありの光ファイバレーザの出力例である。

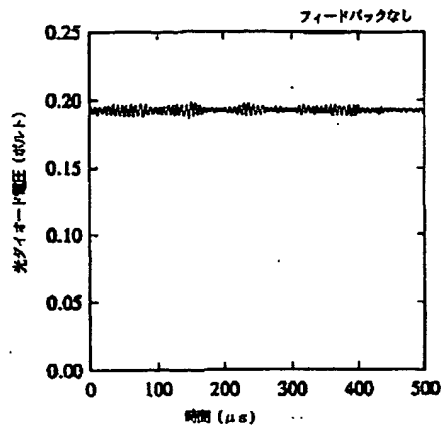
【図5】本発明に係る通信システムの一実施例の模式図である。

【図6】本発明に係るファイバレーザの一実施例の模式図である。

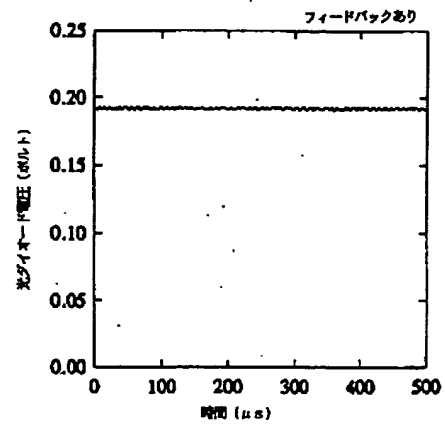
【図7】本発明に係る好ましい、ポンプレーザ/導波レーザ/導波増幅器の配置図である。

【図8】ファイバレーザの応答をポンプレーザ変調周波数の関数として表す特性図である。

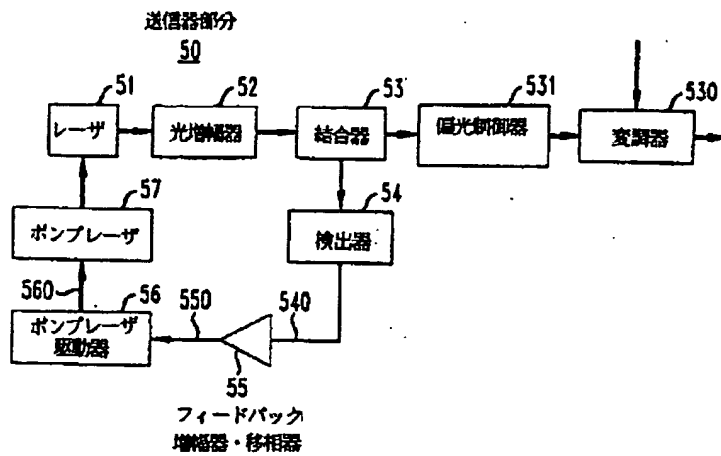
【図3】



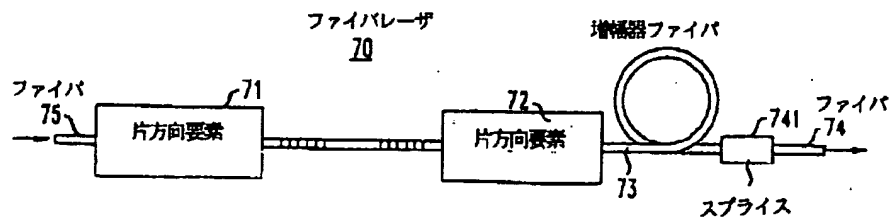
【図4】



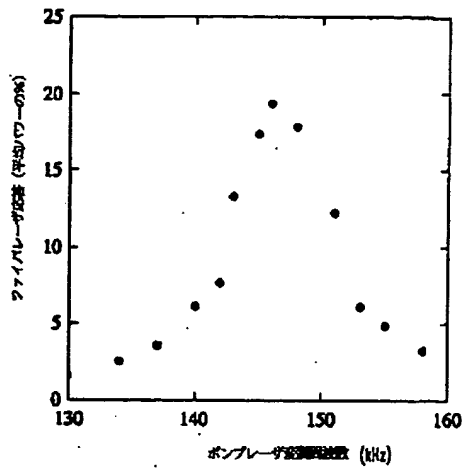
【図5】



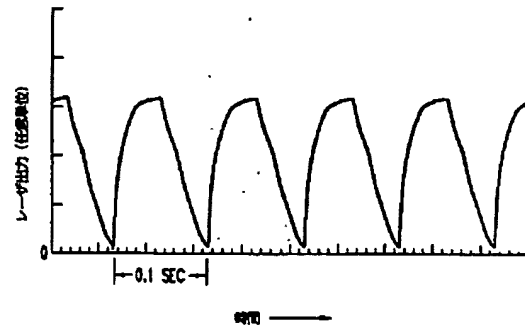
【図7】



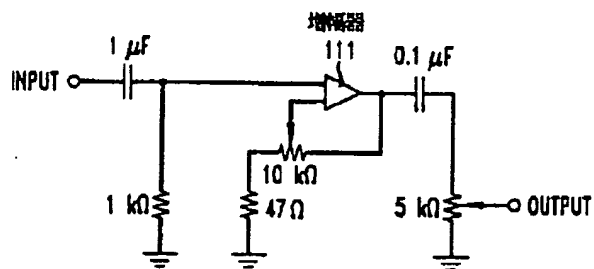
【図8】



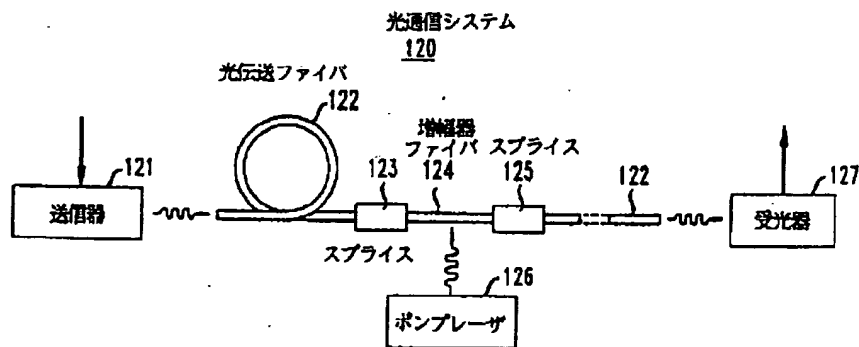
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 ロバート マイケル アトキンズ
アメリカ合衆国 07946 ニュージャージ
ー、ミリングトン、ディヴィジョン アヴ
ェニュー 103

(72)発明者 ジャン-マーク ビエール ドラヴォ
アメリカ合衆国 18106 ペンシルヴェニ
ア ウェスコスヴィル、セリア ドライヴ
5324

(72)発明者 ヴィクター ミズラヒ
アメリカ合衆国 07921 ニュージャージ
ー ベッドミンスター、カーディナル レ
ーン 412